

AIをもっと賢くしよう

知識表現・推論と機械学習を 統合したロバストAI

学習・推論（井上克巳）研究室 [情報学プリンシプル研究系]

井上克巳^{2,1,4} 佐藤泰介² 岡崎孝太郎⁶ 竹村彰浩² NGUYEN Tuan Quoc² 小高充弘^{1,2,4,5} 徐梵清^{1,2} 渡邊晃司^{1,2} 大谷将之^{3,2} 磯邊猛^{1,2} 森山総太^{3,2}

¹総研大 ²国立情報学研究所 ³東工大 ⁴サントラル・ナント [フランス] ⁵日本学術振興会 ⁶(株)ソナー

どんな研究？

	知識表現・推論 (論理プログラミング・ 記号処理)	機械学習 (パターン認識 特に深層学習)	井上研の研究 (学習と推論を繋ぐ 「ロバストAI」)
学習・推論過程を人間 が解釈できる？ (解釈可能性)	○	△	○
データの少なさや欠損、 予想外の変化球に 結果が左右されない？ (ロバスト性)	○	△	○
大規模な変数でも 高速に扱える？ (スケーラビリティ)	△	○	○

何がわかる？

AI基盤技術の開発

ロバストAI (信頼できるAI) をつくるための
新たな基盤技術の確立

知識発見と理解

システムのダイナミクスを司るルールや方程式の発見

数理最適化問題や実社会課題への応用

- ❖ スケジューリング問題 (グラフ彩色, 数独など)
- ❖ 充足可能性問題
- ❖ バイオ (遺伝子制御ネットワーク)
- ❖ ロボティクス (ゲームAI, ロボット救助シミュレーション)

背景・目的

背景 ChatGPT には何が足りない？

機械学習 (特に深層学習) を使う多くのAI

- ❖ 与えられたデータの高速処理 (でも判断理由はブラックボックス)
- ❖ 既存の大量のデータ・知識を検索・整理し提示 (新しい知識は増えない)

機械学習の弱みを克服するには？

- ❖ 知識を記号的に表し判断に至るまでの推論過程を明示的に示す
- ❖ 新しい知識 (仮説) を見つける 記号的なAIや論理プログラミングの研究分野 (でも大規模データを扱うのは苦手)

目的

- ❖ 深層学習による高速処理を使った推論
- ❖ 大規模データからの網羅的かつ高速な仮説空間探索
- ❖ 人間の認知バイアスに左右されない知識 (仮説) の発見

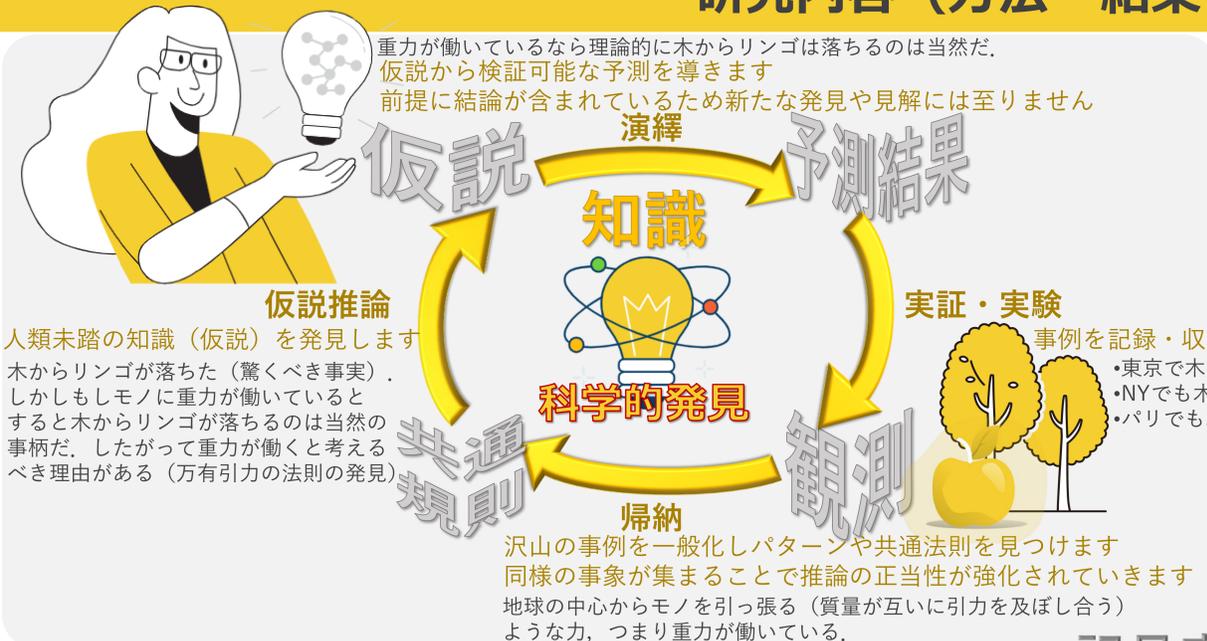
井上研究室の試み

- ❖ 記号的な推論と深層学習の双方の強みを活かした「ロバストAI」づくり
- ❖ 様々なタスクにおいて大規模観測データや背景理論・知識をもとに
逆問題 (システム決定問題) を解き性能評価

意義

- ❖ 作用機序に関する新たな因果の発見を通じたダイナミクス理解
- ❖ 科学的発見のDX・自動化 など

研究内容 (方法・結果・結論)



演繹と仮説推論の違い

演繹 (分析的な推論)	大前提) 重力が働く	→	リンゴが落ちる
	小前提) 重力が働く		
	結論)		リンゴが落ちる
仮説推論 (拡張的な推論)	驚くべき事実)		リンゴが落ちる
	前提) 重力が働く →		リンゴが落ちる
	仮説) 重力が働く		

帰納により導かれる共通規則など

記号空間

背景理論・知識

- 属性や性質を表す知識
○「Aは犬である」
○「真空中の光速は
299,792,458 m/sである」
関係性や因果, 条件を表す知識
○「ニュース番組Bの次番組は
バラエティ番組Cである」
○「遺伝子Dが活性化すると
遺伝子Eが機能する」

色々な知識表現方法

人間の書き言葉 (自然言語)  で書かれた知識

数学・論理的に分析したり推論したりするのに
適した言葉 (形式言語) で書かれた知識
例) 「Aが真ならばBは真」

知識を形式言語で表現することを知識表現といい、
方程式・論理プログラム・グラフ構造など
色々な方法があります。

- 因果ネットワーク
ブーリアンネットワーク
ベイジアンネットワーク
自由文脈文法
- アプローチ
- 深層強化学習 (森山)
 - 解集合プログラミング (大谷)
 - 帰納論理プログラミング (磯邊)

- ナレッジベース
ナレッジグラフ&オントロジー
- 方程式 $\frac{d}{dt}X = F(X)$
- 論理プログラム 論理式 (節) の集合
- グラフ構造
- タスク
- 充足可能性問題 (SAT)
 - 充足可能性モジュロ理論 (SMT)

記号空間での推論と連続代数空間での深層学習を繋ぐ

物理シミュレーション×AI

- ❖ 因果による倏約的な微分方程式学習 (小高)
 - ❖ セルオートマトンとネットワーク生成規則発見 (Fangting)
- GPUによる
高速代数計算
- 応用
- ❖ バイオ (佐藤・小高)
 - ❖ ビジネスインテリジェンス (岡崎)



連絡先：国立情報学研究所 情報プリンシプル研究系 井上克巳
URL : <https://research.nii.ac.jp/il> Email : inoue@nii.ac.jp



チェック！
PCの場合は外部サイト (井上研WEB) に遷移します

Let's Make AI Smarter

Robust AI Integrating Knowledge Representation and Reasoning with Machine Learning

Inference & Learning (INOUE, Katsumi) Lab [Principles of Informatics Research Division]

Katsumi INOUE^{2,1,4} Taisuke SATO² Kotaro OKAZAKI⁶ Akihiro TAKEMURA² Tuan Quoc NGUYEN² Mitsuhiro ODAKA^{1,2,4,5} Fanqing XU^{1,2}
 Koji WATANABE^{1,2} Masayuki OTANI^{3,2} Takeru ISOBE^{1,2} Sota MORIYAMA^{3,2}
¹SOKENDAI ²NII ³Tokyo Tech ⁴Centrale Nantes [France] ⁵JSPS ⁶SONAR Inc.

WHAT

	Knowledge Representation & Reasoning (Logic programming / Symbolic computing)	Machine Learning (Pattern Recognition, especially Deep Learning)	INOUE Lab's study (Robust AI that combines learning with inference)
Can humans interpret the process of learning and reasoning? (Interpretability)	○	△	○
Are the results not affected by small or missing data or unexpected variants? (Robustness)	○	△	○
Can it handle a large number of variables fast? (Scalability)	△	○	○

WHY

Development of fundamental AI techniques

Establishment of new fundamental techniques to realize robust AI (trustworthy AI)

Knowledge discovery and understanding

Discovery of rules or equations governing the dynamics of a system

Applications to mathematical optimization problems & real-world issues

- ❖ Scheduling problems (Graph coloring, Sudoku, etc.)
- ❖ Boolean satisfiability problem (SAT)
- ❖ Biology (Gene Regulatory Networks)
- ❖ Robotics (Game AI, Robot rescue simulation)

Background & Aim

Background What ChatGPT is missing

A lot of AI using machine learning (especially deep learning)

- ❖ High-speed processing of given data (but the rationale for decisions in a black box)
- ❖ Retrieve & organize large amounts of existing data/knowledge and present the results to us (but not add new knowledge)

How to surmount the shortcomings of machine learning

- ❖ Represent knowledge symbolically and explicitly show the reasoning process that leads to a decision
 - ❖ Discover new knowledge (hypotheses)
- Symbolic AI and logic programming research areas (but not so good at handling large datasets)

- #### Aim
- ❖ Inference using deep learning for high-speed processing
 - ❖ Exhaustive and fast hypothesis space search from large-scale datasets
 - ❖ Knowledge (hypothesis) discovery independent of human cognitive biases

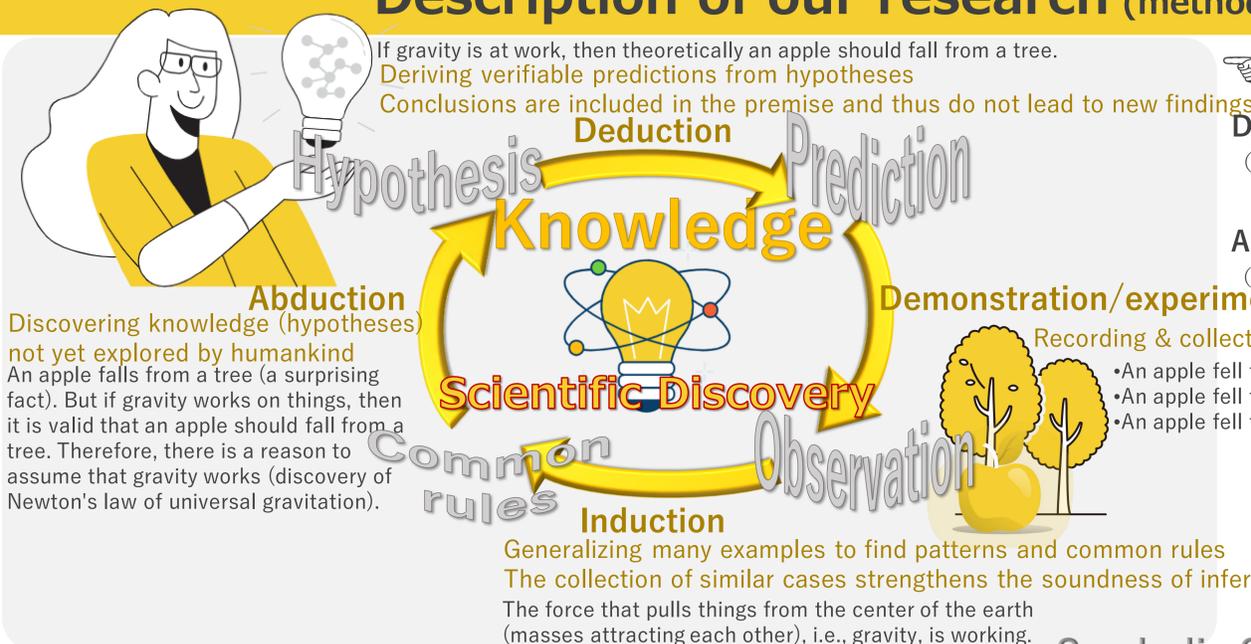
INOUE Lab's attempts

- ❖ Creating "Robust AI" that leverages the strengths of both symbolic reasoning & deep learning
- ❖ Solve inverse problems (system identification problems) based on large-scale observational data, background theory, and knowledge for various tasks and evaluate performance.

Significance

- ❖ Understanding dynamics by finding new causal factors on mechanisms
- ❖ DX + automated scientific discovery, etc.

Description of our research (methods, results, and conclusions)



Difference between deduction and abduction

Reasoning Type	Premise	Conclusion
Deduction (Analytical reasoning)	Major premise) Gravity works Minor premise) Gravity works	→ An apple falls An apple falls
Abduction (Synthetic reasoning)	Surprising fact) An apple falls Premise) Gravity works	→ An apple falls Hypothesis) Gravity works

e.g., induced common rules

Knowledge expressed by human written language (natural language)

Knowledge expressed by the language suitable for analyzing and reasoning mathematically and logically (formal language)
 e.g., "If A is true, then B is true."

There are various ways to represent knowledge in a formal language, such as equations, logic programs, and graph structures.

Knowledge of attributes or properties
 ○ A is a dog.
 ○ The speed of light in vacuum is 299,792,458 m/s.

Knowledge of relationships, cause and effect, and conditions
 ○ The next program after news program B is variety program C.
 ○ When gene D is activated, gene E functions.

Background Theory/Knowledge
 Causality, Axiom

Knowledge bases
 Knowledge graphs & Ontology

Various knowledge representation

- Equations $\frac{d}{dt}X = \mathcal{F}(X)$
- Logic programs
- Graph structures

Approaches

- Deep reinforcement learning (Moriyama)
- Answer Set Programming; ASP (Otani)
- Inductive Logic Programming; ILP (Isobe)

Tasks

- Boolean Satisfiability Problem (SAT)
- Satisfiability Modulo Theories (SMT)

Connecting Inference in Symbolic Space & Deep Learning in Continuous Algebraic Space

Physics Simulation × AI

- ❖ Parsimonious Equation Learning with Causality (Odaka)
- ❖ Cellular automaton & Learning network constructing rules (Fanqing)

Logic in Vector Space

- ❖ Differentiable logic reasoning, learning, and probabilistic programming in vector space (Sato)
- ❖ Linear algebraic logic programming (Nguyen)
- ❖ Differentiable Logic Programming (Takemura)
- ❖ Differentiable SAT/SMT (Watanabe)

Continuous Algebraic Space

Continuous dynamics

Continuous values of state variables

High-speed algebraic computation on GPUs

Applications

- ❖ Biology (Sato/Odaka)
- ❖ Business Intelligence (Okazaki)



Contact : National Institute of Informatics, Principles of Informatics Research Division, Katsumi Inoue
 URL : <https://research.nii.ac.jp/il> Email : inoue@nii.ac.jp



Check!
 PC users are redirected to an external site (Inoue Lab Web).